



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2008135797/02, 03.09.2008**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**03.09.2008**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **03.09.2008**(43) Дата публикации заявки: **10.03.2010** Бюл. № 7(45) Опубликовано: **10.11.2011** Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2167944 C2, 27.05.2001. RU 2282665 C2, 27.08.2006. RU 2287017 C2, 10.11.2006. RU 2299911 C1, 27.05.2007. WO 2005/054520, 16.06.2005. КУРУНОВ И.Ф. и др. Состояние и перспективы бездоменной металлургии железа. - М.: Черметинформация, 2002, с.с.117-126.**

Адрес для переписки:

**620002, г.Екатеринбург, К-2, ул. Мира, 19,  
ГОУ ВПО "УГТУ-УПИ", Центр  
интеллектуальной собственности, Т.В.Маркс**

(72) Автор(ы):

**Лисиенко Владимир Георгиевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Государственное общеобразовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования "Уральский государственный  
технический университет-УПИ" (RU)**

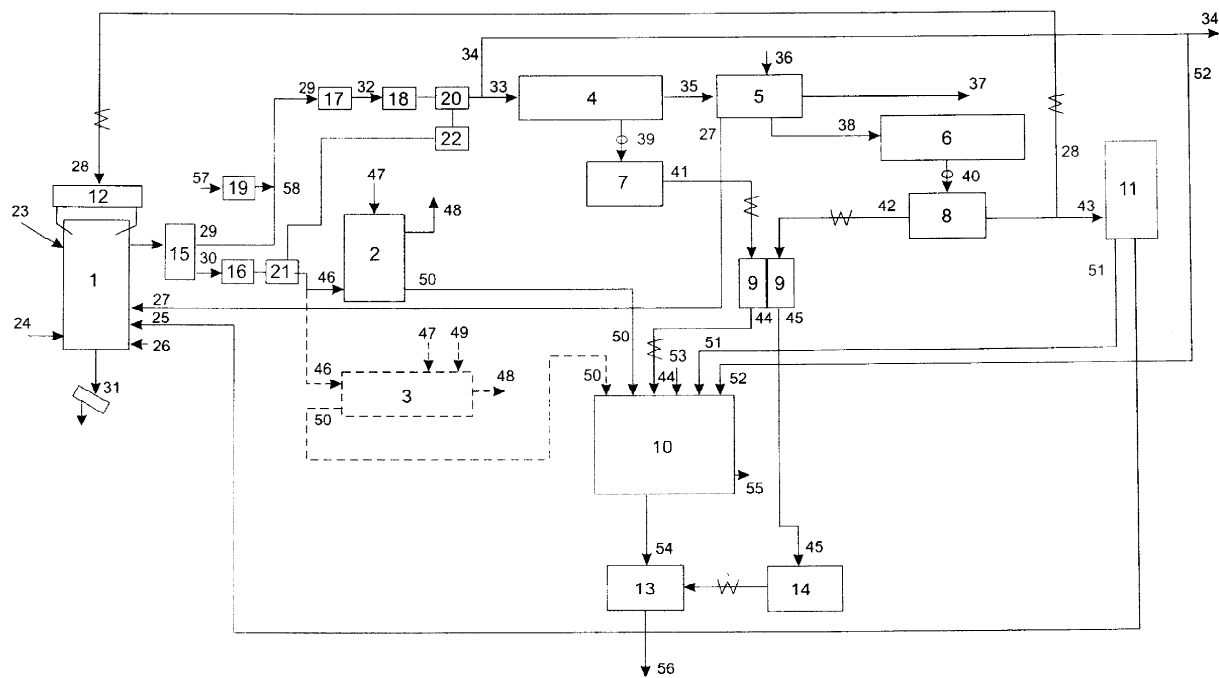
**(54) СПОСОБ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ И СПЛАВОВ В ЗАМКНУТОМ ЭНЕРГО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии, в частности к процессам металлизации и электросталеплавному производству.

Способ включает газификацию углеродсодержащих материалов в газификаторе, металлизацию железорудного сырья в восстановительном агрегате, подачу металлизированного сырья и лома в электродуговую печь для последующей выплавки, рафинирование стали в ковше-печи. Получаемый в газификаторе генераторный газ разделяют на два потока - низкого и высокого давления в соотношении 1:1,2÷1,3, определяемом условиями работы восстановительного агрегата и парогазотурбинной установки в замкнутом

цикле. При этом горячий генераторный газ низкого давления очищают и направляют в качестве восстановителя в восстановительный агрегат для металлизации железорудного сырья. Генераторный газ высокого давления охлаждают, очищают и в качестве энергетического газа направляют в когенерационную парогазотурбинную установку. При этом выработанную в парогазотурбинной установке электрическую энергию используют в электродуговой печи выплавки стали и сплавов. Изобретение позволяет достичь высокой безотходности производства с использованием всех первичных и производных энергоносителей в едином автономном цикле со значительной экономией первичного топлива на



RU 2 4 3 3 1 8 8 C 2

RU 2 4 3 3 1 8 8 C 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2008135797/02, 03.09.2008**(24) Effective date for property rights:  
**03.09.2008**

Priority:

(22) Date of filing: **03.09.2008**(43) Application published: **10.03.2010 Bull. 7**(45) Date of publication: **10.11.2011 Bull. 31**

Mail address:

**620002, g.Ekaterinburg, K-2, ul. Mira, 19, GOU  
VPO "UGTU-UPI", Tsentr intellektual'noj  
sobstvennosti, T.V.Marks**

(72) Inventor(s):

**Lisienko Vladimir Georgievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obshcheobrazovatel'noe  
uchrezhdenie vysshego professional'nogo  
obrazovaniya "Ural'skij gosudarstvennyj  
tekhnicheskij universitet-UPI" (RU)**

**(54) STEEL AND ALLOY MELTING METHOD IN CLOSED IN POWER METALLURGICAL CYCLE**

(57) Abstract:

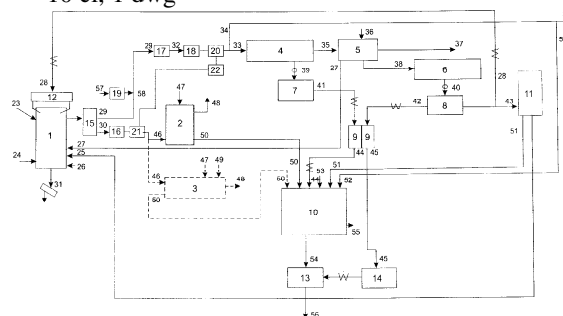
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: method involves gasification of carbon-containing materials in gasificator, metal coating of iron-ore raw material in the reducing unit, supply of metal-coated raw material and scrap to electric arc furnace for further melting, steel refining in the ladle-furnace. Generator gas obtained in the gasificator is divided into two flows - low and high pressure flows in the ratio of  $1:1.2 \div 1.3$ , which is determined with the operating conditions of the reducing unit and steam-gas turbine plant in the closed cycle. At that, hot LP generator gas is purified and supplied as the reducer to the reducing unit for metal coating of iron-ore raw material. HP generator gas is cooled, purified and supplied to cogeneration steam-gas turbine plant as generator gas. At that, electric power generated in steam-gas

turbine plant is used in electric arc steel and alloy melting furnace.

EFFECT: invention allows achieving high non-waste production by using all primary and derived energy carriers in common independent cycle with considerable economy of primary fuel consumed for electric power generation.

10 cl, 1 dwg



Изобретение относится к металлургии, в частности к процессам металлизации и электрошлакоплавильному производству.

Известны способы выплавки стали и сплавов в электродуговых печах (ЭДП) с использованием металлизированного сырья, в частности металлизированных  
5 окатышей и лома [1-5].

В известных способах для получения металлизированного сырья используется дорогостоящий природный газ (процессы Мидрекс, ХИЛ-3). При этом электроэнергия для работы ЭДП используется из сети централизованного энергоснабжения.

10 Однако недостатком этих способов является использование дорогостоящего высококалорийного топлива - природного газа. Кроме того, в этих способах для работы ЭДП используются централизованные (посторонние) источники энергии, обладающие низкими значениями КПД по выработке электроэнергии (до 25%) из-за значительных потерь на электростанциях и при транспортировке.

15 В известном процессе Коррекс для металлизации железорудного сырья используются горячие восстановительные газы, полученные при газификации угля. Однако в этом процессе получается чугун и требуются дополнительные агрегаты для его обессеривания и обесфосфоривания и получения стали из чугуна.

20 Таким образом, известен способ выплавки стали в ЭДП, в которую подаются металлизированные окатыши, полученные с использованием восстановительного газа, вырабатываемого путем конверсии природного газа [1]. В этом способе для процесса конверсии применяется природный газ, и восстановительный газ используется для процесса металлизации окатышей. Однако недостатком этого  
25 способа является использование для процесса конверсии дорогостоящего высококалорийного топлива - природного газа, и это делает процесс выплавки стали в ЭДП также весьма дорогостоящим. Кроме того, в качестве источника энергии ЭДП используются централизованные электрические сети, при этом КПД получения  
30 электроэнергии весьма низок из-за больших потерь при получении электроэнергии на электростанциях и при ее транспортировке (КПД до 25%). При этом соответственно весьма велики и выбросы вредных и парниковых газов в атмосферу.

Технической задачей настоящего изобретения является снижение энергозатрат при получении стали и сплавов в ЭДП, снижение выбросов вредных и парниковых газов в  
35 атмосферу, снижение себестоимости выплавки стали и сплавов.

Технический результат предлагаемого изобретения достигается тем, что способ выплавки стали и сплавов в замкнутом энергометаллургическом цикле включает газификацию углеродсодержащих материалов в газификаторе, металлизацию рудного  
40 сырья в восстановительном агрегате, подачу металлизированного сырья в ЭДП для последующей плавки, рафинирование стали в ковше-печи, выработку кислорода в кислородной станции и его использование в электродуговой печи, применение регуляторов давления, расходов и соотношения газов, выработку и использование  
45 полученной в когенерационной парогазотурбинной установке электроэнергии и пара отличается тем, что получаемый в газификаторе генераторный газ разделяют с использованием коллектора, двух отдельных трубопроводов, регуляторов давлений, расходов и соотношения расходов на два потока газа: низкого и высокого давления в соотношении 1:1,2÷1,3, определяемом условиями работы восстановительного агрегата  
50 и парогазотурбинной установки в замкнутом цикле, при этом горячий генераторный газ низкого давления, как восстановительный, очищают и направляют в качестве восстановителя в восстановительный агрегат для металлизации железорудного сырья, а генераторный газ высокого давления, как энергетический газ, охлаждают, очищают

и направляют в когенерационную парогазотурбинную установку и выработанную электрическую мощность в упомянутой парогазотурбинной установке используют в ЭДП для выплавки стали и сплавов. Способ также отличается тем, что в качестве восстановительного агрегата для металлизации железорудного сырья используют шахтную печь. Способ отличается тем, что в качестве восстановительного агрегата для металлизации железорудного сырья используют трубчатую вращающуюся печь. Способ отличается тем, что в газификаторе в качестве углеродсодержащего топлива используют уголь или биомассу. Способ отличается тем, что для работы парогазотурбинной установки используют смесь генераторного газа с высококалорийным топливом. Способ также отличается тем, что 3,5-4% выработанной в парогазотурбинной установке электрической мощности дополнительно используют для получения кислорода в кислородной станции. Способ отличается тем, что 5-7,5% выработанной в парогазотурбинной установке электрической мощности дополнительно используют для питания электродуговой установки ковша-печи. Способ отличается тем, что 1,5-2,5% выработанной в парогазотурбинной установке электрической мощности дополнительно используют для питания электрической установки газификатора. Способ отличается тем, что 1-2% энергетического газа используют в качестве дополнительного топлива в ЭДП. Способ отличается тем, что 4,5-5% пара, производимого в котле-утилизаторе парогазотурбинной установки, используют для подачи в газификатор.

Металлургической основой выплавки стали и сплавов в предлагаемом способе является шахтная печь металлизации обожженных окатышей или трубчатая вращающаяся печь для металлизации обожженных окатышей или железорудных концентратов и дуговая электропечь переменного или постоянного тока, работающая с использованием металлизированного сырья (окатыши или железорудный концентрат) и металлического лома.

При этом работа ЭДП характеризуется следующим образом.

ЭДП питают электрической мощностью от трансформатора, кроме того, предусматривают подачу кислорода от кислородной станции и газообразного топлива; в ЭДП выплавливают как углеродистые, так и легированные стали и сплавы;

ЭДП работает в комплексе с ковшом-печью для получения высококачественной стали и сплавов.

Приведенные в описании и формуле изобретения цифровые значения выделяемой электрической мощности и требуемых расходов генераторного газа обосновываются в приводимом ниже примере реализации способа в соответствии с источниками [1-11].

Энергетической основой предлагаемого способа являются сравнительно дешевые углеродсодержащие материалы (уголь, биомасса, отходы древесины и т.д.), подвергающиеся газификации в газификаторе. В газификатор подают воздух, кислород и пар для получения генераторного газа и вводят электроэнергию. Полученный генераторный газ поступает в коллектор и отдельными трубопроводами разделяют на два потока: низкого и высокого давления. Соотношение расходов газа в этих двух потоках определяется условиями работы восстановительного агрегата и парогазотурбинной установки в замкнутом энергометаллургическом цикле, расчеты (см. пример расчета) дают это соотношение в пределах  $1:1,2 \div 1,3$ . Генераторный газ высокого давления подвергают очистке от пыли и серы, охлаждают и используют в парогазотурбинной установке. Генераторный газ поступает в газовую турбину, соединенную с электрическим генератором. Парогазотурбинная установка работает в смешанном когенерационном режиме. Отработанные продукты сгорания

газотурбинной установки поступают в котел-утилизатор, в котором вырабатывают пар, поступающий в паровую турбину, вращающую соответствующий электрический генератор. Выработанную таким образом электрическую мощность используют в основном для питания трансформатора ЭДП и 5-7,5% электрической мощности  
5 используется для питания трансформатора ковша-печи, а 3,5-4% этой мощности используют для питания электродвигателя компрессора кислородной станции.

1-2% вырабатываемого генераторного газа используют в качестве дополнительного топлива для ЭДП, а в те периоды плавки ЭДП, при которых  
10 газокислородные горелки не используют, поставляют в качестве экспортного газа.

В случае работы газификатора с использованием электрической энергии (в этом случае газификатор работает в режиме так называемого электрогазификатора) 1,5-2,5% выработанной парогазотурбинной установкой электрической мощности  
15 расходуют для питания электрической установки газификатора. Предусматривают также возможность получения для работы газовой турбины синтетического газа с добавкой в генераторный газ через смеситель высококалорийного топлива - природный, попутный газ газовых или нефтяных скважин, пиролизный газ и т.д. и получением синтетического газа (сингаза).

20 4,5-5% пара, производимого в котле-утилизаторе, отбирают для подачи в газификатор при его работе в режиме воздушно-паровой газификации.

Предлагаемый способ реализуется с помощью установки, представленной на чертеже.

Она включает газификатор 1, шахтную печь металлизации 2 или трубчатую  
25 вращающуюся печь металлизации 3 (показана пунктиром), газотурбинную установку 4, котел-утилизатор 5, паровую турбину 6, электрические генераторы: газовой турбины 7, паровой турбины 8, питающий трансформатор 9, ЭДП 10, кислородную станцию 11, установку электроподогрева газификатора -  
30 электроустановку газификатора 12, ковш-печь 13, электродуговую установку ковша-печи 14, коллектор генераторного газа 15, очиститель газа низкого давления 16, охладитель газа высокого давления 17, очиститель газа высокого давления 18, смеситель сингаза 19, регулятор расхода генераторного газа, направляемого в парогазотурбинную установку 20, регулятор расхода генераторного газа,  
35 направляемого в шахтную печь (трубчатую вращающуюся печь) 21, регулятор соотношения расходов генераторного газа, направляемого в парогазотурбинную установку и шахтную печь (трубчатую вращающуюся печь) 22, подачу в газификатор: углеродсодержащих материалов 23, сорбента 24, кислорода 25, воздуха 26, пара 27,  
40 электроэнергии на установку электроподогрева газификатора 28, выдачу из газификатора: энергетического газа высокого давления 29, восстановительного газа низкого давления 30, золы 31, подачу: охлажденного энергетического газа в очиститель 32, очищенного энергетического газа высокого давления в газовую турбину 33, выдачу излишнего энергетического газа в экспортную сеть 34, подачу  
45 отходящих газов газовой турбины в котел-утилизатор 35, подачу химочищенной воды в котел-утилизатор 36, выдачу из котла-утилизатора отходящих газов 37 и пара высокого давления 38, связь 39 газовой турбины 4 с электрогенератором 7, связь 40 паровой турбины 6 с электрогенератором 8, выдачу электроэнергии газового электрогенератора 7 и парового электрогенератора 8 соответственно 41 и 42 на трансформатор ЭДП 9, подачу электроэнергии 43 также на кислородную станцию 11, подачу электроэнергии 24 на электроустановку газификатора 12, подачу части пара 27 котла-утилизатора 5 в газификатор 1, выдачу из трансформатора 9 электрической

мощности 44 на ЭДП 10 и 45 на электродуговую установку ковша-печи, подачу в шахтную печь 2: восстановительного газа низкого давления 46, обожженных окатышей 47, выдачу из шахтной печи металлзации 2: металлзированных окатышей 50, колошниковых газов 48, подачу в трубчатую вращающуюся печь металлзации 3 (как вариант): восстановительного газа 46, угля 47, окисленных окатышей или железорудного концентрата 49, выдачу из трубчатой вращающейся печи металлзации 3: металлзированных окатышей или металлзированного железорудного концентрата 48, подачу в кислородную станцию 11 электроэнергии 43, выдачу из кислородной станции 11 кислорода 51, подачу в ЭДП: металлзированных окатышей или металлзированного железорудного концентрата 50, металлического лома 53, электроэнергии 44, кислорода 51, экспортного газа 52, выдачу из ЭДП: металла в ковш-печь 54 и шлака 55, выдачу из ковша-печи металла 56.

При необходимости установка включает подачу высококалорийного газа 57 в смеситель 18 и выдачу обогащенного энергетического газа 58.

Устройство работает следующим образом.

В газификатор 1 подают углеродсодержащие материалы 23 (уголь, биомасса, древесная щепа и т.д.), вдувают воздух 26, кислород 25 и пар 27, а также подают сорбент 24. В случае работы газификатора в режиме электрогазификатора на электроустановку газификатора 12 подают электрическую энергию 28. Полученный в газификаторе генераторный газ поступает в коллектор 15 и через два трубопровода его разделяют на два потока: газ высокого давления (до 4,0 МПа) 29 - энергетический газ и газ низкого давления (до 0,2 МПа) 30 - восстановительный газ. При этом давления и расходы разделенных потоков генераторного газа поддерживают регуляторами давления и расхода 20 (для энергетического газа) и 21 (для восстановительного газа), а требуемое соотношение их расходов поддерживают регулятором соотношения 22. В нижней части газификатора выдается зола 31.

Энергетический газ 29 охлаждают в охладителе 17, охлажденный газ 32 поступает в очиститель 18 и через регулятор давления и расхода 20 газ направляют 33 на газовую турбину 4. 1-2% энергетического газа используют в качестве экспортного 34.

Отходящие газы газовой турбины 35 подают в котел-утилизатор 5, который запитывают химочищенной водой 36. Получаемый в котле-утилизаторе 5 пар высокого давления 38 направляют в паровую турбину 6. При этом 5% пара 27 котла-утилизатора 5 направляют в газификатор 1. Электрическую энергию, вырабатываемую электрогенераторами: газовой 7 и паровой 8 турбинами, направляют 41 и 42: на трансформатор ЭДП 9, 43 - на кислородную станцию 11; 28 - на электроустановку газификатора 12. От трансформатора 9 электроэнергию 44 направляют на ЭДП и 45 - на электродуговую установку 14 ковша-печи 13.

Горячий - с температурой 800-850°C генераторный газ низкого давления - восстановительный газ 30 направляют в сероочиститель 16 и через регулятор давления и расхода 21 далее 46 в шахтную печь металлзации 2 или в трубчатую вращающуюся печь 3.

В шахтную печь металлзации 2 подают обожженные окатыши 47 и из печи выдают металлзированные окатыши 50.

Как вариант, в трубчатую вращательную печь 3 подают уголь 47 и обожженные окатыши или железорудный концентрат 49 и из печи выдают металлзированные окатыши или железорудный концентрат 50. В ЭДП 10 подают металлзированные окатыши 50 шахтной печи 2, или металлзированные окатыши, или металлзированный железорудный концентрат трубчатой вращающейся печи 50 (в

соотношении к металлической части шахты 30-40%), металлический лом 53, кислород 51 кислородной станции 11, экспортный газ 52. Из ЭДП выплавленную сталь 54 подают в ковш-печь 13 связанного с электродуговой установкой 14 ковша-печи 13. Готовую сталь выдают из ковша-печи 13 на разливку 56.

В качестве примера приведены количественные соотношения и характеристики реализации предлагаемого способа выплавки стали в замкнутом энергометаллургическом цикле. Эти характеристики оценены как удельные показатели - на 1 т емкости ЭДП (или при выходе годного металла 100% - на 1 т выплавляемой стали). При этом использованы источники [4-12]. Расчеты проведены на максимальную (пиковую) требуемую мощность всей установки, с учетом того, что ЭДП в разные периоды плавки потребляет различную электрическую мощность.

По данным [10, 11] связь мощности трансформатора ЭДП  $N_{тр}$  и ее емкости  $M_{эд}$  определится соотношением

$$N_{тр} = 0,6 \div 0,8 M_{эд} \text{ МВт}, \quad (1)$$

т.е. удельная мощность составляет  $0,6 \div 0,8$  МВт на 1 т емкости ЭДП.

Расход металлизированных окатышей (концентрата)  $G_{ок}$  составит [1, 2]

$$G_{ок} = 0,3 \div 0,4 M_{эд}. \quad (2)$$

Удельный расход восстановительного газа для металлизации  $V_{в.г}$  составляет  $V_{в.г} = 1700-1800 \text{ м}^3/\text{т}$  металлизированных окатышей [5],

$$\text{т.е. } V_{в.г} = (1700 - 1800) \text{ м}^3 G_{ок}. \quad (3)$$

Тогда из соотношений (1), (2) максимальный удельный расход восстановительного газа для металлизации составит

$$v_{в.г} = 576 \text{ м}^3/\text{т} \text{ емкости печи.}$$

Коэффициент полезного действия парогазотурбинных установок находится на уровне КПД=50% [8]. Из этого же источника следует, что уже разработаны газотурбинные установки, работающие на генераторном газе.

Определим тепловую мощность по генераторному газу, требуемую для работы парогазотурбинной установки, исходя из соотношения (1) и КПД=50%=0,5:

$$N_{г.г} = \frac{0,8}{0,5} = 1,6 \text{ МВт на 1 т емкости ЭДП.}$$

Тепловая мощность при использовании топлива равна

$$N_{г.г} = B_{г.г} (Q_H^p)_{г.г}, \quad (4)$$

где  $B_{г.г}$  - расход генераторного газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $(Q_H^p)_{г.г}$  - низшая рабочая теплота сгорания генераторного газа.

Теплота сгорания генераторного газа зависит от способа его получения.

Возможны, например, воздушная, паровая, уголекислотная, кислородная, кислородно-воздушная генерация. Кроме того, возможно применение дополнительной электрической мощности [4]. Например, при составе генераторного газа из угля [3-5], %:  $\text{CO}=47$ ;  $\text{H}_2=41$ ;  $\text{CO}_2=25$ ;  $\text{H}_2\text{O}=3,5$ ;  $\text{N}_2=6$  его низшая рабочая теплота сгорания составит

$$(BQ_H^p)_{г.г} = 30,5 \cdot 0,47 + 25,8 \cdot 0,41 = 2484 \text{ ккал} / \text{м}^3 = 10351 \text{ кДж} / \text{м}^3.$$

Повышение теплоты сгорания генераторного газа в предлагаемом способе достигается путем подмешивания к генераторному газу высококалорийного топлива (получение синтетического газа).

При известной теплоте сгорания генераторного (синтетического) газа из формулы (3) расход генераторного (синтетического) газа определится по соотношению



$$B_{г.г} = \frac{N_{г.г}}{(Q_H^p)_{г.г}} \cdot \quad (5)$$

Для рассмотренного примера по  $(Q_H^p)_{г.г} = 10351 \text{ кДж} / \text{м}^3$  и  $N_{г.г}=1,6 \text{ МВт}=1600$

кВт

$B_{г.г}=1600/10351=0,155 \text{ м}^3/\text{с}/\text{т}$  емкости ЭДП.

Удельный расход генераторного газа в этом случае зависит от времени плавки в

ЭДП  $\tau_{пл}$

$$B_{г.г} = B_{г.г} \cdot \tau_{пл} \cdot \quad (6)$$

Так, при  $\tau_{пл}=1 \text{ ч}=3600 \text{ с}$  получено

$B_{г.г}=0,155 \cdot 3600=556,5 \text{ м}^3/\text{т}$  емкости ЭДП.

На основании определенных удельных расходов энергетического генераторного (синтетического) газа на выработку электрической энергии для питания

трансформатора ЭДП  $B_{г.г}$  и восстановительного газа на процесс металлизации  $V_{г.г}$  их соотношение составит

$$M_{э.т} = \frac{B_{г.г}}{V_{г.г}} \quad (7)$$

Для данного примера величина  $M_{э.т}$  равна

$$M_{э.т} = \frac{556,5}{576} = 0,966 \approx 1,0.$$

При использовании мощности парогазотурбинной установки для питания электродуговой установки ковша-печи величина  $B_{г.г}$  увеличивается на 10-15% [13], и в этом случае требуемый удельный расход энергетического генераторного газа составит

$$B'_{г.г} = 1,1 - 1,5 B_{г.г} \cdot \quad (8)$$

Для дополнительного электропитания кислородной станции при энергоемкости получения кислорода  $\mathcal{E}_k=240,1 \text{ кг у.т} / 1000 \text{ м}^3 \text{ O}_2=1680,7 \text{ ккал}/\text{м}^3 \text{ O}_2=7042,1 \text{ кДж}/\text{м}^3 \text{ O}_2$  и среднем расходе кислорода  $30 \text{ м}^3/\text{т}$  стали [11] получаем при КПД=0,5 парогазотурбинной установки дополнительный требуемый расход энергетического генераторного газа

$\Delta B_{г.г}=40,8 \text{ м}^3/\text{т}$  емкости ЭДП,

что составит 7-8% от величины  $B_{г.г}$ , т.е. в этом случае расход генераторного газа

$$B''_{г.г} = (1,07 - 1,08) B_{г.г} \cdot \quad (9)$$

Таким образом, суммарный требуемый расход энергетического генераторного газа (на ЭДП, электродуговую установку ковша-печи и кислородную станцию)

составит

$$B^3_{г.г} = 1,17 - 1,24 B_{г.г} \cdot \quad (10)$$

В рассматриваемом примере, исходя из максимальных значений расходов, получено

$$B^3_{г.г} = 1,24 \cdot 556,5 = 691,1 \text{ м}^3 / \text{т} \text{ емкости ЭДП.}$$

В случае дополнительного расхода электроэнергии в газификаторе расход энергетического газа  $B_{г.г}$  дополнительно увеличивают на 3-5%, что необходимо для использования в тепловом балансе газификатора.

При использовании части энергетического газа в качестве дополнительного топлива в ЭДП при расходе  $5 \text{ м}^3/\text{т}$  его расход дополнительно увеличивают на величину 1% от величины  $B_{г.г}$ . В отдельные периоды плавки этот расход может быть увеличен до 2%.

Таким образом, максимальный для данной установки расход энергетического

генераторного газа составит

$$B_{г.г}^{\Sigma} = 1,31 B_{г.г}. \quad (11)$$

Для рассматриваемого примера

$$B_{г.г}^{\Sigma} = 1,31 \cdot 556,5 = 731,8 \text{ м}^3 / \text{т емкости ЭДП.}$$

В этом случае соотношение удельных расходов энергетического и восстановительного газов составит

$$M_{э.г}^{\Sigma} = \frac{B_{г.г}^{\Sigma}}{v_{г.г}} \quad (12)$$

Для рассматриваемого примера это соотношение составит

$$M_{э.г}^{\Sigma} = \frac{731,8}{576} = 1,27.$$

Таким образом, соотношение потоков газов восстановительного и энергетического принимаем при условии некоторого разброса исходных данных расчета как 1:1,2÷1,3.

Требуемый максимальный суммарный удельный расход генераторного газа на процесс металлизации и выработку электроэнергии составит

$$g_{\Sigma} = v_{г.г} + B_{г.г}^{\Sigma}. \quad (13)$$

Для рассматриваемого примера

$$g_{\Sigma} = 576 + 731,8 = 1307,8 \text{ м}^3 / \text{т емкости ЭДП.}$$

С учетом расхода энергетического угля 0,4-0,5 кг/м<sup>3</sup> энергетического газа [5] его максимальный удельный расход составит

$$g_{у.г} = 0,5 \cdot 1307,8 = 653,9 \text{ кг/т} = 0,654 \text{ т/т емкости ЭДП.}$$

Для подачи восстановительного газа в шахтную печь или вращающуюся трубчатую печь используют неохлажденный генераторный газ с температурой 800-850°C и давлением 0,15 МПа [1-3]. Для подачи энергетического газа в газовую турбину парогазотурбинной установки вырабатывают генераторный газ с давлением до 4 МПа [6, 7].

Удельный расход пара высокого давления на паровую турбину при соотношении электрических мощностей паровой и газовой турбин  $n_{п.г} = N_{п.г} / N = 0,3$  и расходе пара

$$d_{пар} = 5 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \frac{1 \text{ МВт}}{\text{с}} [8] \text{ составит на 1 т стали при } N_{г.г} = 1,6 \text{ МВт/т}$$

$$G_{пар} = N_{г.г} \frac{1}{1 + n_{п.г}} d_{пар}. \quad (14)$$

Тогда

$$G_{пар} = 1,6 \frac{1}{1 + 0,3} 5 = 6,15 \frac{\text{кг}}{\text{с}} / \text{т емкости ЭДП.}$$

При времени плавки  $\tau_{пл} = 1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$  расход пара на паровую турбину составит  $g_{пар} = G_{пар} \cdot \tau_{пл} = 6,15 \cdot 3600 = 22,150 \text{ кг} = 22,15 \text{ т/т емкости ЭДП.}$

При этом на газификатор дополнительно отбирают пар из котла-утилизатора

$$g'_{пар} = 0,15 B_{г.г}^{\Sigma} \cdot \rho_{пар} \text{ кг/т емкости ЭДП,} \quad (15)$$

где  $\rho_{пар}$  - плотность пара (при  $T = 400^\circ\text{C}$  и  $P = 4 \text{ МН/м}^2$ ,  $\rho = 10 \text{ кг/м}^3$ ) [12], т.е. величина  $g'_{пар} = 0,15 \cdot 731,8 \cdot 10 = 1098 \text{ кг} = 1,1 \text{ т/т емкости ЭДП}$

или 5% от расхода пара на паровую турбину и 4,5% от общего расхода пара.

Таким образом, общий требуемый расход пара, вырабатываемого в котле-утилизаторе, составит

$$g_{пар} + g'_{пар} = 22,15 + 1,1 = 23,25 \text{ т/т емкости ЭДП.}$$

Исходя из этих параметров, рассчитывают по известной методике поверхность нагрева котла-утилизатора и выбирается его тип [12].

Так как приведенные расчеты проведены на удельный максимальный расход генераторного газа и его составляющих, то соответствующие расходы на ЭДП получают умножением соответствующих удельных показателей на емкость рассматриваемых ЭДП.

Эффективность данного способа, прежде всего, определяется разницей в КПД производства электроэнергии из централизованного источника КПД  $\approx 0,25$  и в автономном цикле с использованием парогазотурбинной установки с КПД=0,5.

Тогда при рассчитанном соотношении энергетического и восстановительного газа  $M_{\Sigma, T}^{\Sigma} = 1,27$  экономия первичного топлива на производство электроэнергии в предлагаемом способе составит

$$\frac{M_{\Sigma, T}^{\Sigma} \cdot 0,5}{M_{\Sigma, T}^{\Sigma} \cdot 0,25} \cdot 100 = \frac{1,27 \cdot 0,5}{1,27 + 1 \cdot 0,25} \cdot 100 = 112\%$$

Соответственно снизится расход парниковых и вредных выбросов.

В данном способе, как для получения электроэнергии, так и для обеспечения восстановительного процесса и использования дополнительного топлива в ЭДП, а также для получения пара для работы в газификаторе используют дешевое углеродсодержащее топливо. Достигают также высокую безотходность производства с использованием всех первичных и производных энергоносителей в едином автономном цикле со значительной экономией первичного топлива на производство электроэнергии. Соответственно снижается эмиссия вредных и парниковых газов.

При предлагаемом автономном энергометаллургическом способе производства стали и наличии единого источника получения как энергетического, так и восстановительного газа снижаются капитальные и эксплуатационные расходы.

#### ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

1. Развитие бескоксовой металлургии / Н.А.Тулин, В.С.Кудрявцев, С.А.Пчелкин и др. / Под ред. Н.А.Тулина, К.М.Майера. М.: Металлургия, 1987, - 328 с.
2. Бескоксовая переработка титаномагнетитовых руд / В.А.Ровнушкин, Б.А.Боковиков, С.Г.Братчиков и др. / Под ред. С.Г.Братчикова. М.: Металлургия, 1988, - 247 с.
3. Ю.С.Юсфин, А.А.Гиммельфарб, Н.Ф.Пашков. Новые процессы получения металла. М.: Металлургия, 1994, - 320 с.
4. Л.А.Шульц. Элементы безотходной технологии в металлургии. М.: Металлургия, 1991, - 174 с.
5. Лисиенко В.Г., Соловьева Н.В., Трофимова О.Г. Альтернативная металлургия: проблема легирования, модельные оценки эффективности / Под ред. В.Г.Лисиенко. М.: Теплотехник, 2007, - 440 с.
6. Bush V. Gasification Technology Development Gas Technology Institute, 2007, 8.07. P.2.
7. Bryan B. The GTI Gasification Process. Gas Technology Institute. 4-10-07. doc., 2006. - P.7.
8. Газотурбинные технологии. Каталог газотурбинного оборудования, 2006. - 241 с.; 2007, - 297 с.; 2008, - 357 с.
9. Смоляренко В.Д., Овчинников С.Г., Черняховский Б.П. Опережающее развитие выплавки стали в электродуговых печах. Промышленные печи и трубы, 2006, №1, с.4-7.
10. Малиновский В.С. Универсальные дуговые печи и миксеры постоянного тока нового поколения. Там же, с.8-12.
11. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Сооружение промышленных

печей. Проектирование плавильных комплексов. Справочное издание. Кн.2, кн.3 / Под ред. В.Г.Лисиенко. М.: Теплотехник, 2006, - 755 с. (кн.2), 865 с. (кн.3).

12. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Б.И.Китаев, Б.Ф.Зобнин, В.Ф.Ратников и др. / Под ред. А.С.Телегина. М.: Металлургия, 1970, - 528 с.

### Формула изобретения

1. Способ выплавки стали и сплавов в замкнутом энергометаллургическом цикле, включающий газификацию углеродсодержащих материалов в газификаторе, металлизацию железорудного сырья в восстановительном агрегате, подачу металлизированного сырья и лома в электродуговую печь для последующей выплавки, рафинирование стали и сплавов в ковше-печи, использование выработанного в кислородной станции кислорода в электродуговой печи, использование полученной в когенерационной парогазотурбинной установке электроэнергии и пара, отличающийся тем, что получаемый в газификаторе генераторный газ разделяют на два потока - низкого и высокого давления в соотношении 1:1,2-1,3, определяемом условиями работы восстановительного агрегата и парогазотурбинной установки в замкнутом цикле, при этом горячий генераторный газ низкого давления очищают и направляют в качестве восстановительного газа в восстановительный агрегат для металлизации железорудного сырья, а генераторный газ высокого давления охлаждают, очищают и в качестве энергетического газа направляют в когенерационную парогазотурбинную установку, при этом выработанную в упомянутой парогазотурбинной установке электрическую энергию используют в электродуговой печи выплавки стали и сплавов.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве восстановительного агрегата для металлизации железорудного сырья используют шахтную печь.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве восстановительного агрегата для металлизации железорудного сырья используют трубчатую вращающуюся печь.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что в газификаторе в качестве углеродсодержащего топлива используют уголь или биомассу.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что для работы парогазотурбинной установки используют смесь генераторного газа с высококалорийным топливом.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что 3,5-4% выработанной в парогазотурбинной установке электрической энергии дополнительно используют для получения кислорода в кислородной станции.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что 5-7,5% выработанной в парогазотурбинной установке электрической энергии дополнительно используют при рафинировании стали и сплавов для питания электродуговой установки ковша-печи.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что 1,5-2,5% выработанной в парогазотурбинной установке электрической энергии дополнительно используют для питания электрической установки газификатора.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что 1-2% энергетического газа используют в качестве дополнительного топлива в электродуговой печи.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что 4,5-5% пара, производимого в котле-утилизаторе парогазотурбинной установки, используют для подачи в газификатор.